

Juuso Paju

Sähköautojen käyttäminen sähkövarastoina

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

21.11.2016

Tekijä(t) Otsikko	Juuso Paju Sähköautojen käyttäminen sähkövarastoina
Sivumäärä Aika	28 sivua + 4 liitettä 21.11.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Jarno Varteva
<p>Sähköautojen yleistyminen voi aiheuttaa ongelmia niiden latauksessa. Akut ovat kapasiteetiltaan aiempaa suurempia ja ne pitäisi ladata lyhyessä ajassa. 90 prosenttia sähköautojen latauksesta tulee tapahtumaan kotona, mutta pientalojen sähköjärjestelmien mitoituksissa ei aiemmin ole otettu huomioon sähköautojen latauspisteiden käyttämää suurta latausvirtaa.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia sähköauton pientalossa tapahtuvan latauksen aikana esiintyviä virtoja, tehoja ja pääsulakkeiden kuormittumista. Työssä tutkittiin myös sähköautojen akkuihin varastoidun sähköenergian purkamista ja siitä saatavaa hyötyä. Aihetta tarkasteltiin täyssähköautojen ja erityisesti Tesla Model S ja Nissan Leaf -autojen kannalta.</p> <p>Työmenetelminä olivat lähteiden tutkiminen ja laskelmien tekeminen. Työn tuloksena saatiin laskelmat autojen lataukseen kuluva ajasta ja tehoista, sekä latauksen vaikutuksesta pientalon kokonaistehoon ja siihen liittyvään virtaan. Saatiin myös selvitys sähköauton kyvystä toimia varavoimana sähkökatkon aikana. Tehtiin myös katsaus akkuteknologian ja sähköautojen määrän ja yleisen tekniikan kehittymiseen lähitulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	Sähköauto, lataus, akut

Author(s) Title	Juuso Paju Electric Cars as Electricity Storages
Number of Pages Date	28 pages + 4 appendices 21 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electric Power Engineering
Instructor(s)	Jarno Varteva, Principal lecturer
<p>The growing popularity of electric vehicles can cause difficulties with their charging. The battery capacities are becoming larger and batteries are supposed to be charged in a short time. 90 percent of the charging will be happening at home, but the electricity systems of older detached houses have not been designed to sustain such electrical powers and currents.</p> <p>The aim of this thesis was to analyze the state of main fuses of a detached house and the appearing electrical powers and currents during the charging. The possibility to use the energy stored in electric car battery by discharging was also examined. Special attention was given to the battery electric vehicles Tesla Model S and Nissan Leaf.</p> <p>Working methods were examining literary and internet sources and making calculations. As a result, calculations of charging times and powers, and information about the effects on the peak power of a detached house were obtained. An overview is given about the ability of an electric car to act as backup power during a loss of mains and about the state of battery technology, and the amount and general development of electric cars in near future.</p>	
Keywords	Electric vehicles, charging, battery

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköautot	2
2.1	Täyssähköautot	2
2.1.1	Tesla Model S	3
2.1.2	Nissan Leaf	4
3	Sähköautojen akkuteknologia	4
3.1	Litiumioniakut	5
3.2	Akkujen kehitys lähitulevaisuudessa	6
4	Sähköautojen lataus	6
4.1	Lataustavat	6
4.2	Lataus pientalossa	9
4.2.1	Tesla Model S -sähköauton lataus	10
4.2.2	Nissan Leaf -sähköauton lataus	11
4.3	Lataus julkisella paikalla	12
5	Sähköautojen käyttäminen sähkövarastoina	13
5.1	Käyttäminen pientaloissa	13
5.1.1	Sähköauto varavoimana	14
5.1.2	Sähköauto kulutushuippujen tasauksessa	16
5.2	Käyttäminen sähköverkossa	17
6	Sähköautot lähitulevaisuudessa	17
7	Yhteenveto	19
	Lähteet	20

Liitteet

Liite 1. Täyssähköautojen myyntitilastoja

Liite 2. Tesla Model S -sähköauton lataukseen kuluva aika

Liite 3. Nissan Leaf -sähköauton lataukseen kuluva aika

Liite 4. Pientalossa esiintyvät virrat latauksen aikana

Lyhenteet

A	Ampeeri. Sähkövirran yksikkö.
BEV	Battery Electric Vehicle. Täyssähköauto.
BMS	Battery Management System. Akustonhallintajärjestelmä.
EFV	Electric Freight Vehicle. Sähkökuorma-auto.
EV	Electric Vehicle. Sähköautoista yleisesti käytetty nimitys.
HEV	Hybrid Electric Vehicle. Ei-ladattava hybridauto.
kWh	Kilowattitunti.
PHEV	Plug In Hybrid Electric Vehicle. Ladattava hybridauto.
RFID	Radio Frequency Identification. Radiotaajuinen etätunnistus.
SUV	Sport Utility Vehicle. Katumaasturi.
V	Voltti. Jännitteen yksikkö.
V2G	Vehicle-to-Grid. Sähköajoneuvojen akustojen hyödyntäminen sähköverkossa.
V2H	Vehicle-to-Home. Sähköajoneuvon akuston hyödyntäminen kotitaloudessa.
W	Watti. Tehon yksikkö.

1 Johdanto

Sähköautojen määrän kasvaminen ja niiden akkukapasiteettien suurentuminen aiheuttavat haasteita niiden lataukselle. Ennusteen mukaan sähköautojen markkinaosuus on 35 % vuoteen 2040 mennessä. Sähköautot ovat tehokas keino vähentää liikenteen päästöjä ja riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Sähköautot ovat täysin päästöttömiä, kun niiden lataukseen käytetty sähkö on tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä. Ne ovat myös huomattavasti hiljaisempia kuin polttomootoriautot, joten niiden yleistyminen vähentää liikennemelua. Niiden avulla voidaan helpottaa suurkaupunkien liikenteestä johtuvia saasteongelmia. Suomessa etäisyydet ovat pitkiä, joten sähköautojen laajemmalle yleistymiselle on edellytyksenä autojen pidempi toimintamatka ja latausinfrastruktuurin merkittävä kehittyminen.

Sähköauton hankinta käytännössä edellyttää kotilatauspisteen hankintaa, koska Suomen latausinfrastruktuuri on vielä melko kehittymätön. Suurin osa latauksesta tulee tapahtumaan auton ollessa kotona, mutta pientalojen vanhat sähköjärjestelmät kestävät rajallisesti suuritehoista latausta normaalin kulutuksen ohessa. Sähköautojen akustoihin varastoidun energian hyödyntäminen auton ollessa pysäköitynä voi olla hyödyllistä ja taloudellisesti kannattavaa.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on selvittää sähköauton pientalossa kolmivaihesähköllä tapahtuvassa latauksessa esiintyviä virtoja ja tehoja sekä pääsulakkeiden kestävyyttä lataustilanteessa. Selvitystyössä tutkitaan latauksen ajoituksen ja lataustavan merkitystä taloudellisesta ja sähköteknisestä näkökulmasta, selvitetään sähköautojen akkuteknologian kehitysnäkymiä ja yleistä tekniikan kehitystä lähitulevaisuudessa. Työssä kartoitetaan mahdollisuuksia hyödyntää sähköautoa sähkövarastona pientalossa ja laajemmin sähköverkossa, eli purkamalla akkuihin varastoitua sähköenergiaa takaisinpäin. Pientaloissa tämä tarkoittaa sähköauton käyttämistä varavoimanlähteenä ja autoon varastoidun sähköenergian purkamista kulutushuippujen aikana. Aihetta käsitellään täyssähköautojen osalta.

Työmenetelminä ovat kirjallisten lähteiden tutkiminen ja laskelmien tekeminen. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle.

2 Sähköautot

Sähköauto on ajoneuvo, jonka voimanlähteenä tai sen osana on yksi tai useampi sähkömoottori. Tarvittava energia on varastoitu akkuihin tai muunlaiseen energiavarastoon. Sähköautot voidaan jakaa kahteen kategoriaan, jotka ovat täyssähköautot ja hybridiautot. Hybridiautot jaetaan edelleen ladattaviin hybridiautoihin (PHEV) ja ei-ladattaviin hybridiautoihin (HEV).

2.1 Täyssähköautot

Täyssähköautolla (BEV) tarkoitetaan sähköautoa, jonka ainoana voimanlähteenä on sähkömoottoreita, ja niiden tarvitsema energia on varastoitu ladattaviin akkuihin eli akustoon. Täyssähköauton sähkötekniinen rakenne koostuu akustosta, moottoriohjaimesta eli kontrollerista ja sähkömoottorista. [1.]

Moottoriohjaimen tehtävänä on hallita moottorille syötettävää tehoa. Siten se ohjaa auton nopeutta ja kulkusuuntaa. Kun käytössä on oikosulku- eli induktiomoottori, toimii moottoriohjain kuten taajuusmuuttaja. Kiihdytettäessä moottoriohjain vaihtosuuntaa akuston syöttämän tasavirran moottorille sopivaksi vaihtovirraksi. Hidastettaessa moottorijarrutuksen aikana sähkömoottori toimii generaattorina syöttäen vaihtovirtaa. Moottoriohjain tasasuuntaa vaihtovirran tasavirraksi ja lataa akustoa. [2, s. 19; 3.]

Työssä valittiin erityisen tarkastelun ja akkukapasiteettien osalta vertailun kohteiksi vuonna 2016 Suomessa eniten myydyt sähköautot, jotka olivat Tesla Model S ja Nissan Leaf [4]. Tesla Model S on suurella akustolla varustettu, kallis ja pitkille matkoille soveltuva täyssähköauto. Nissan Leaf on täyssähköautoissa keskihintainen ja sen akkukapasiteetti on huomattavasti pienempi verrattuna Tesla Model S:n kapasiteettiin. Sähköautojen myyntitilastoja on liitteessä 1.

2.1.1 Tesla Model S

Tesla Model S on amerikkalaisen Tesla Motorsin vuodesta 2012 valmistama täyssähköauto. Autossa on kapasiteetiltaan 70 tai 90 kilowattitunnin litiumioniakusto. Moottorina on nelinapainen ja kolmivaiheinen oikosulku- eli induktiomoottori. Auto on kallis, mutta se soveltuu pitkiin matkoihin ja on toimintamatkaltaan ylivoimainen muiden valmistajien autoihin verrattuna. Auto on kuvassa 1. [5; 6.]



Kuva 1. Tesla Model S [7]

Toimintamatka on täydellä latauksella ajo-olosuhteista, ajotavasta ja akuston kapasiteetista riippuen jopa 500 km. Autosta on saatavilla eri versiota. Yksimoottorisessa versiossa on sähkömoottori vain taka-akselilla. Kaksimoottorisissa malleissa on sähkömoottorit taka- ja etuakselilla. Kaksimoottorinen Performance-malli kiihtyy 0–100 km/h 2,7 sekunnissa. [5.]

Tesla Motors valmistaa Model S:n ohella myös Tesla Model X -täyssähköautoa. Se on maailman nopein katumaasturi (SUV) 100 kWh:n akkukapasiteetilla ja vielä kalliimpi kuin Model S. [8.]

2.1.2 Nissan Leaf

Nissan Leaf on japanilaisen Nissanin vuodesta 2010 valmistama täyssähköauto. Tesla Model S:stä poiketen sähkömoottorina on vierasmagnetoitu synkronimoottori. Auto on kuvassa 2. [9.]



Kuva 2. Nissan Leaf [10]

Autosta on vuoden 2016 mallistossa saatavana kolmea eri versiota, jotka ovat S24, S30 ja SV. S24:ssä on 24 kilowattitunnin akusto, ja S30:ssä ja SV:ssä 30 kilowattitunnin akusto. S24:n toimintaetäisyys on olosuhteista riippuen 135 kilometriä, ja S30:n ja SV:n 172 kilometriä. [9.]

Nissan valmistaa Leafin ohella E-NV200 -täyssähköautoa, joka on saatavana tavallisena pakettiautomallina sekä henkilökuljetukseen soveltuvana Combi-mallina. [11.]

3 Sähköautojen akkuteknologia

Akusto on täyssähköauton ainoa energiavarasto ja siihen varastoitu kemiallinen energia muuttuu ajettaessa sähköenergiaksi. Yksittäisen akkukennon pääosat ovat elektrodit, eli anodi ja katodi, ja elektrolyytti. Sähkövirta syntyy elektronien liikkuesssa katodien välillä. Elektrolyytti on elektrodien välillä oleva aine. Akun purkautuessa negatiivinen elektrodi eli anodi luovuttaa elektroneja positiiviselle elektrodille eli katodille. Akkua ladattaessa reaktio on päinvastainen. [2, s. 29; 12.].

Sähköautojen kannalta akun tärkeimpiä ominaisuuksia ovat energia- ja tehotehiheys.

Energiatiheys ilmaisee akun kykyä varastoida energiaa. Sen yksikkö on Wh/kg. Eri akkutyypin energiatihyksiä on taulukossa 1. Energiatiheys on sähköautojen kannalta tärkeä ominaisuus, koska suuri energiatihyys tarkoittaa kevyempää akkua, mikä antaa pidemmän toimintamatkan. [12.]

Taulukko 1. Eri akkujen energiatihyksiä [12; 13]

Akkutyyppi	Energiatiheys [Wh/kg]
Lyijy	30
Nikkelikadmium	50
Nikkelimetallihydridi	60
Litium-ioni	140
Litium-rautafosfaatti	100
Litium-polymeeri	200
Suola-akku	90

Tehotehiheys ilmaisee akun kykyä antaa tehoa. Sen yksikkö on W/kg. [12.]

3.1 Litiumioniakut

Yleisin nykyisissä täyssähköautoissa käytetty akkutyyppi on litiumioniakku. Sen nimitys tulee elektrodien välillä liikkuvista litiumioneista. Anodi valmistetaan yleensä grafiitista. Katodi on litiumoksidipohjaista materiaalia ja sille on useita vaihtoehtoja. [14.]

Litiumioniakusto vaatii toimiakseen akustonhallinta- eli BMS-järjestelmän. Sen tärkeimmät tehtävät ovat latauksen ja purkauksen ohjaus sekä kennojen varausten välisen tasapainon ylläpitäminen. [2, s. 50–52.]

3.2 Akkujen kehitys lähitulevaisuudessa

Akut ovat olleet suurin syy sähköautojen määrän kasvamisen hitauteen [15]. Tehokkaiden litiumioniakkujen valmistaminen on kallista ja suurten akkujen BMS-järjestelmästä tulee todella monimutkainen. Akkujen hintojen kehitykseen vaikuttaa myös raaka-aineiden hinta.

Yhdysvalloissa on tutkittu nanoteknologian hyödyntämistä parempien akkujen kehittämisessä. Nanoteknologian avulla voidaan käyttää elektrodeissa vaikeammin syttyviä materiaaleja, jolloin akkujen paloturvallisuus paranee. Akuista voidaan myös tehdä huomattavasti kevyempiä. Elektrodiin pinnoittaminen nanopartikkeleilla kasvattaa niiden pinta-alaa ja mahdollistaa suurempien sähkövirtojen kulkemisen niiden välillä, jolloin akusta saadaan suurempi teho ja latausaika korkeamman latausvirrankeston myötä lyhenee. [16.]

4 Sähköautojen lataus

Sähköautoja ladataan varastoimalla sähköenergiaa auton akustoon ulkoisesta lähteestä eli sähköverkosta.

4.1 Lataustavat

Sähköautojen lataustavat on jaettu standardeissa neljään luokkaan. Jako perustuu latauslaitteistoon, latausvirtaan ja latauksen keston. [17, s. 3–4.]

Kolmivaiheinen latausteho voidaan laskea kaavalla 1.

$$P_L = \sqrt{3} * U * I_L, \quad (1)$$

jossa P_L [W] kolmivaiheinen latausteho, U [V] on pääjännite, joka on Suomessa 400 V, ja I_L [A] latausvirta.

Yksivaiheinen latausteho voidaan laskea kaavalla 2.

$$P_{L1} = U_v * I_L, \quad (2)$$

jossa P_{L1} [W] on yksivaiheinen latausteho, U_v [V] on vaihejännite, joka on Suomessa 230 V, ja I_L [A] on latausvirta.

Lataukseen kuluva aika voidaan laskea kaavalla 3.

$$t_L = C/P_L, \quad (3)$$

jossa t_L [h] on lataukseen kuluva aika, C [kWh] on akuston kapasiteetti ja P_L [kW] on latausteho.

Kevyiden sähköajoneuvojen lataus

Lataustapa 1 on tarkoitettu kevyiden ja pieniakkuisten sähköajoneuvojen tilapäiseen ja lyhytkestoiseen lataukseen. Ajoneuvossa sijaitsevaa laturia syötetään tavallisen yksivaiheisen kotitalouspistorasian kautta, joka on suojattu enintään 30 mA:n vikavirtasuojalla. Lataustapa 1 ei sovellu täyssähköautojen lataukseen. [17, s. 3–4; 18.]

Hidas lataus

Lataustavasta 2 käytetään nimitystä hidas lataus ja se on tarkoitettu sähköajoneuvojen tilapäiseen ja rajoitettuun lataukseen, Sähköajoneuvossa sijaitsevaa laturia syötetään 230 V:n vaihtosähköllä tavallisen, yksivaiheisen ja maadoitetun kotitalouspistorasian kautta. Latausvirran tulee olla rajoitettu riittävän pieneksi. Latauskaapelissa on ohjaustoimintoja ja vikavirtasuoja. Hitaaseen lataukseen käytetty kaapeli on kuvassa 3. [17, s. 3–4; 18.]



Kuva 3. Hitaan latauksen Schuko-latauskaapeli [19]

Esimerkiksi 8 A latausvirralla saadaan yksivaiheinen latausteho 1840 W.

Peruslataus

Lataustavasta 3 käytetään nimitystä peruslataus, ja se tulee olemaan sähköautojen yleisin lataustapa. Autoa ladataan erityisellä sähköajoneuvojen lataukseen tarkoitetulla järjestelmällä. Latausjärjestelmä voi olla yksi- tai kolmivaiheinen ja latausvirta 6–63 A. Latauspisteen ja ajoneuvon välillä on tiedonsiirtoväylä, joka mahdollistaa kuormituksen ja latausvirran ohjauksen. Tiedonsiirtoväylä mahdollistaa etäohjauksen. Peruslataukseen käytetty kaapeli on kuvassa 4. [17, s. 3–4; 18; 20, s. 42–43.]



Kuva 4. Peruslatauksessa käytettävä Mennekes-latauskaapeli [19]

Esimerkiksi kolmivaiheinen lataus 32 A:n latausvirralla antaa lataustehon 22,2 kW.

Pikalataus

Lataustapa 4 eli niin sanottu pikalataus toteutetaan ulkoisella tasavirtalaturilla. Sen avulla voidaan käyttää erittäin korkeaa latausvirtaa. Teoreettinen standardien sallima enimmäisvirta on 200 A. Pikalatauksessa käytettävä pistoke on kuvassa 5. [18; 20, s. 42–43.]



Kuva 5. Pikalatauksessa käytettävä CHAdeMO-pistoke [16]

Suomen julkisilla pikalatauspisteillä latausteho on tyypillisesti 50 kW. Tällöin latausvirta on noin 70 A. 200 A:n latausvirralla latausteho olisi 139 kW.

Pikalatauksen ansiosta autossa ei tarvitsisi olla laturia, koska tasasuuntaus tapahtuu auton ulkopuolella latauslaitteistossa. Näin autoa saa kevennettyä ja toimintamatkaa kasvatettua. Pikalatausasemia on vielä melko vähän, joten autolla ei voisi ajaa kovin laajalla alueella Suomessa.

4.2 Lataus pientalossa

Sähköautojen latauksesta 90 prosenttia tulee tapahtumaan kotona. Koska lataustapa 2 on tarkoitettu vain tilapäiseen lataukseen, on lataustapa 3 käytännössä ainoa realistinen lataustapa pientaloille. [20, s. 41.]

Sähköauton lataus on merkittävä rasite pääsulakkeille. Pääsulakkeet mitoitetaan huipputehon perusteella. Menetelmää soveltamalla voidaan määritellä latauksen vaikutus kokonaisvirtaan ja siten sulakkeisiin.

Pientalon kokonaisvirta sähköauton latauksen aikana lasketaan kaavalla 4.

$$I_T = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (4)$$

jossa I_T [A] on kokonaisvirta, P_T [W] on sähköauton latauksen aikainen talon kokonaisteho ja U [V] on pääjännite.

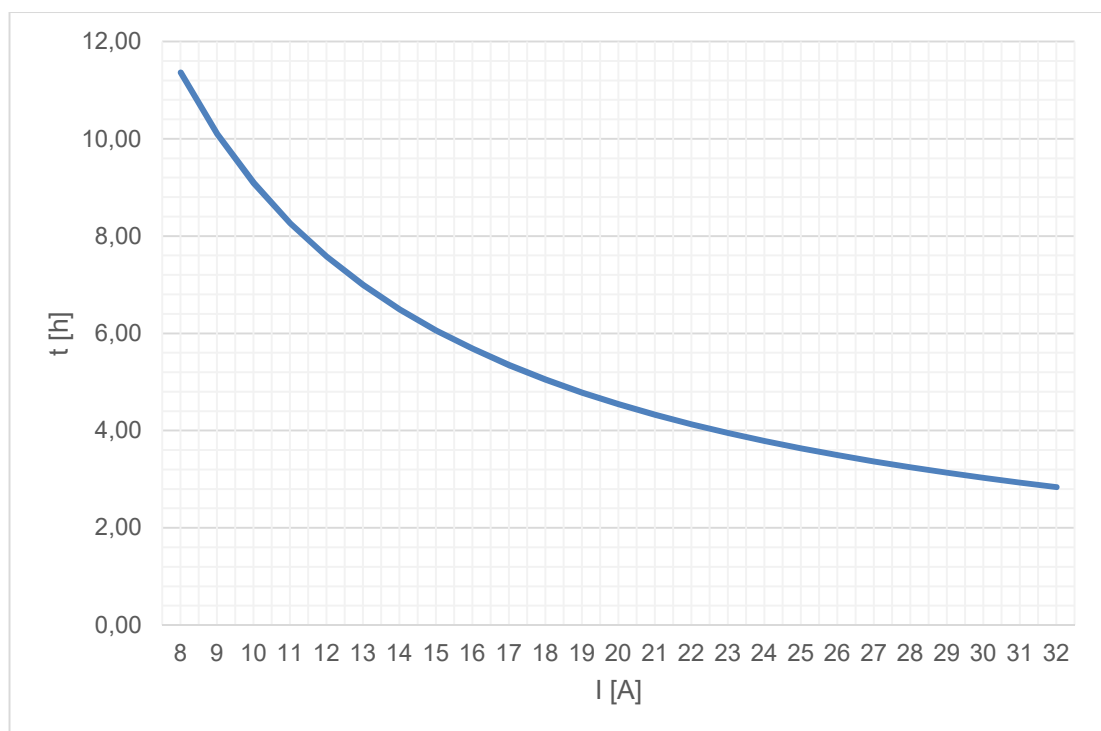
Kun autoa ladataan yöllä, voidaan sähkölämmitystä ja käyttöveden lämmitystä lukuun ottamatta olettaa talon sähkönkulutuksen olevan pientä. Jos talon kuluttama teho on

esimerkiksi 10 kW, voidaan sähköautoa ladata 3 x 25 A:n pääsulakkeiden kannalta enintään 10 A:n latausvirralla. 3 x 35 A:n pääsulakkeet kestävät enintään 20 A:n latausvirran. Virtalaskelmat ovat liitteessä 4.

On otettava huomioon, että sähköautojen akustoja ei todennäköisesti ajeta päivittäin tyhjäksi. Silloin kannattaa käyttää tarkoituksenmukaista latausvirtaa asettamalla latauspisteeseen haluttu latausaika. Laskelmat tehtiin oletuksella, että akusto ladataan täyteen 10–100%.

4.2.1 Tesla Model S -sähköauton lataus

Tesla Model S:n akkukapasiteetista katsottiin olevan käytössä 90 % eli 63 kWh. Latausteho ja -aika laskettiin kolmivaiheisella 400 V:n jännitteellä. Laskelmien tulokset ovat liitteessä 2. Lataukseen kuluva aika tietyllä latausvirralla on esitetty kuvassa 6.

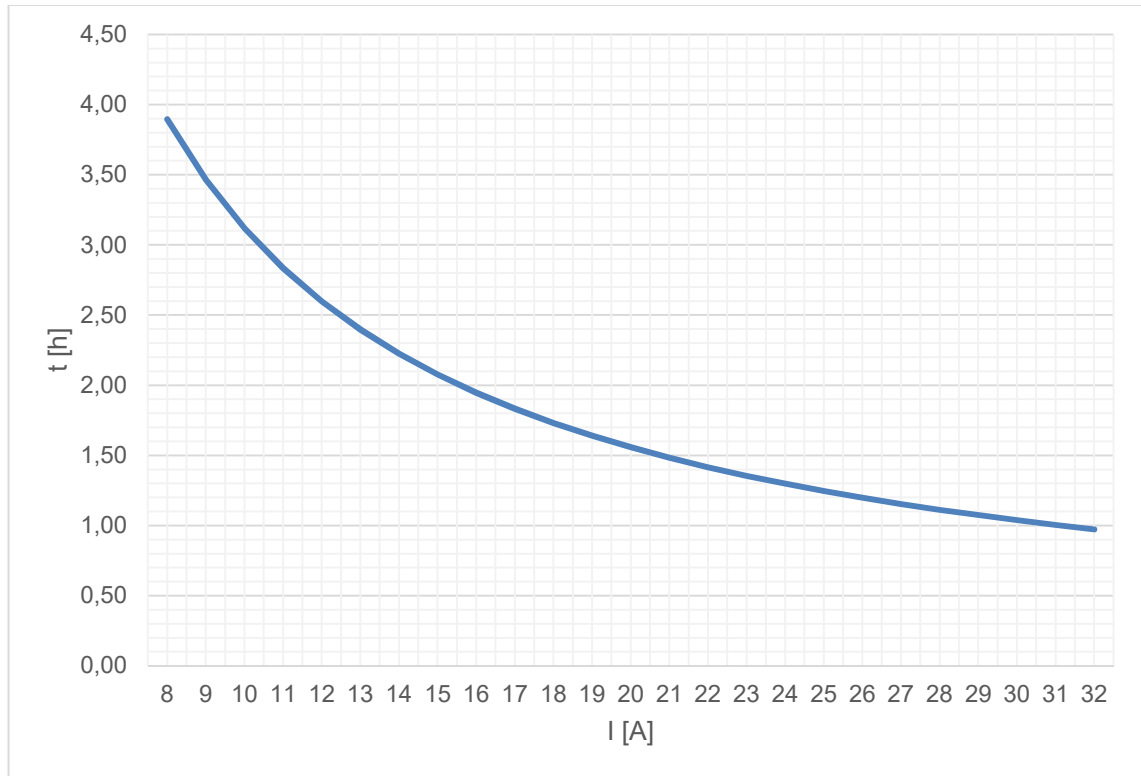


Kuva 6. Tesla Model S -sähköauton latausaika

Tesla Model S -sähköauton lataus vie paljon aikaa pienemmällä latausvirralla. Toisaalta on varsin epätodennäköistä, että akusto ajetaan jokaisena päivänä tyhjäksi.

4.2.2 Nissan Leaf -sähköauton lataus

Nissan Leafin akkukapasiteetista katsottiin olevan käytössä 90 % eli 21,6 kWh. Lataus-teho ja -aika laskettiin kolmivaiheisella 400 V:n jännitteellä. Laskelmien tulokset ovat liitteessä 3. Lataukseen kuluva aika tietyllä latausvirralla on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Nissan Leaf -sähköauton latausaika

Nissan Leaf -sähköauton lataus onnistuu pienestä akkukapasiteetista johtuen pienelläkin latausvirralla kohtuullisessa ajassa.

4.3 Lataus julkisella paikalla

Pieni osa sähköautojen latauksesta tulee tapahtumaan julkisilla paikoilla. Julkisella paikalla tarkoitetaan latausasemaa, johon kaikilla käyttäjillä on pääsy. Niitä voi sijaita esimerkiksi huoltoasemilla, kadunvarsilla, pääväylien varsilla ja pysäköintihalleissa.

Jos latausasemalla on samanaikaisesti suuri määrä sähköautoja latauksessa, voidaan latausvirtaa joutua rajoittamaan. Jo nykyisin myytävät latauspisteet mahdollistavat etäohjauksen, jolla rajoittaminen tapahtuu.

Tällä hetkellä on paljon latausasemia, joissa sähköauton voi ladata ilmaiseksi. Sähköautojen määrän kasvaessa latausasemat tulevat muuttumaan maksullisiksi. Veloitus perustuu käyttäjän tunnistamiseen, joka voi tapahtua esimerkiksi RFID:llä tai älypuhelinsovelluksella. Veloitus tapahtuu lataustehon ja -ajan perusteella.

Pohjoismaissa on käytössä Fortumin Charge & Drive -latausverkosto, joka perustuu pilvipalveluihin. Käyttäjätunnistus tapahtuu RFID-kortilla ja veloitus tapahtuu automaattisesti esimerkiksi luottokortilta. [21.]

Toinen latausverkostoa Suomessa ylläpitävä toimija on energiayhtiöiden perustama Liikennevirta Oy. Sen latauspalvelujen käyttö perustuu prepaid-veloitukseen, eli käyttäjä maksaa etukäteen haluamansa saldon, jonka verran sähköautoa voi ladata palveluun kuuluvalla latausasemalla. Tunnistaminen tapahtuu RFID-kortilla ja palvelu tukee myöhemmin eRoaming-sopimuksen tullessa voimaan lataamista myös ulkomailla. [22.]

5 Sähköautojen käyttäminen sähkövarastoina

Sähköautot ovat suurimman osan ajasta pysäköitynä ja latauksessa. Niiden akustojen hyödyntäminen purkamalla energiaa takaisin päin on ollut eri toimijoiden, kuten jakeluverkkoyhtiöiden, intresseissä ja se yleistyneenä lähitulevaisuudessa.

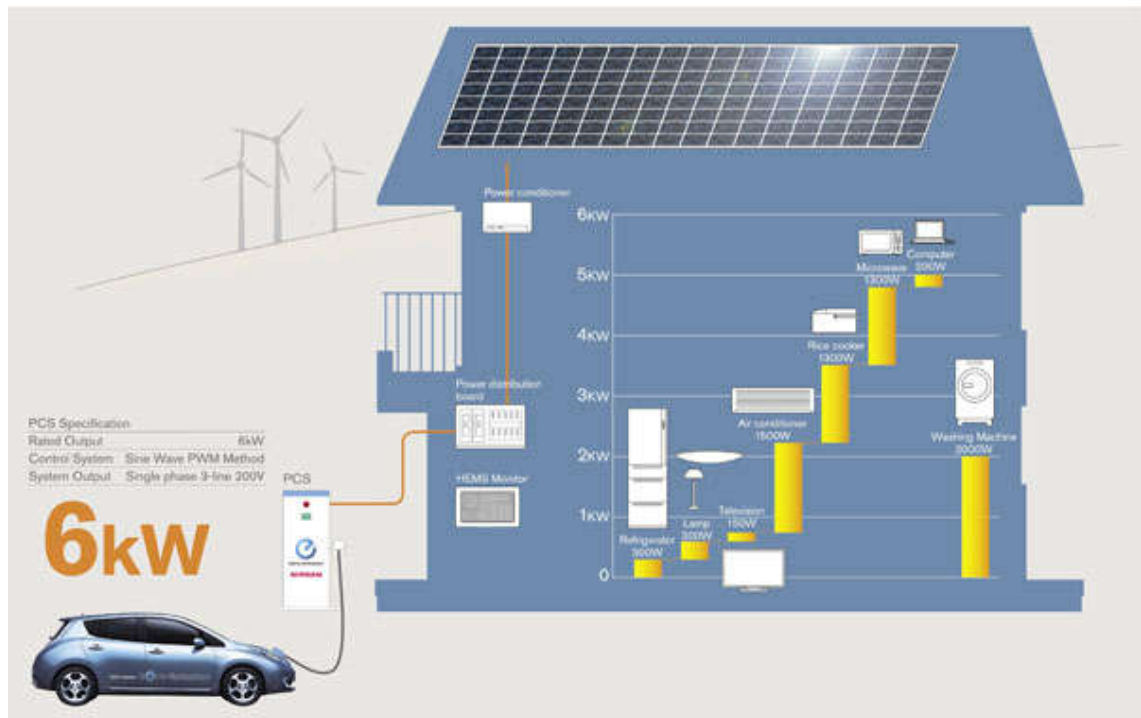
5.1 Käyttäminen pientaloissa

Sähköautojen akustojen hyödyntämisestä kotitalouksissa käytetään nimitystä V2H. Tesla Motors on antanut ymmärtää, ettei sen sähköautoja tulla käyttämään V2H-tarkoituksessa. Yhtiö valmistaa erikseen Powerwall-litiumioniakkujärjestelmää, joka on tarkoitettu sähkön pientuotannon varastointiin ja varavoimakäyttöön. Järjestelmä mahdollistaa myös kulutushuippujen tasauksen. Lokakuussa 2016 esiteltiin toisen sukupolven Powerwall 2, joka on kuvassa 8. [8.]



Kuva 8. Tesla Powerwall 2 -järjestelmä [8]

Nissan on kehittänyt Nichicon Corporationin kanssa EV Power Station PCS -latauspistejärjestelmän, jonka avulla on mahdollista käyttää sähköauton akustoon varastoitua sähköenergiaa. Järjestelmä on esitelty kuvassa 9. [23.]



Kuva 9. Nissanin ja Nichiconin EV Power Station -järjestelmän periaatekuva [23]

Nissan Leaf -sähköauton akuston kapasiteetti on toistaiseksi varsin rajallinen, joten järjestelmällä saavutettavaa hyötyä ei voida pitää suurena.

5.1.1 Sähköauto varavoimana

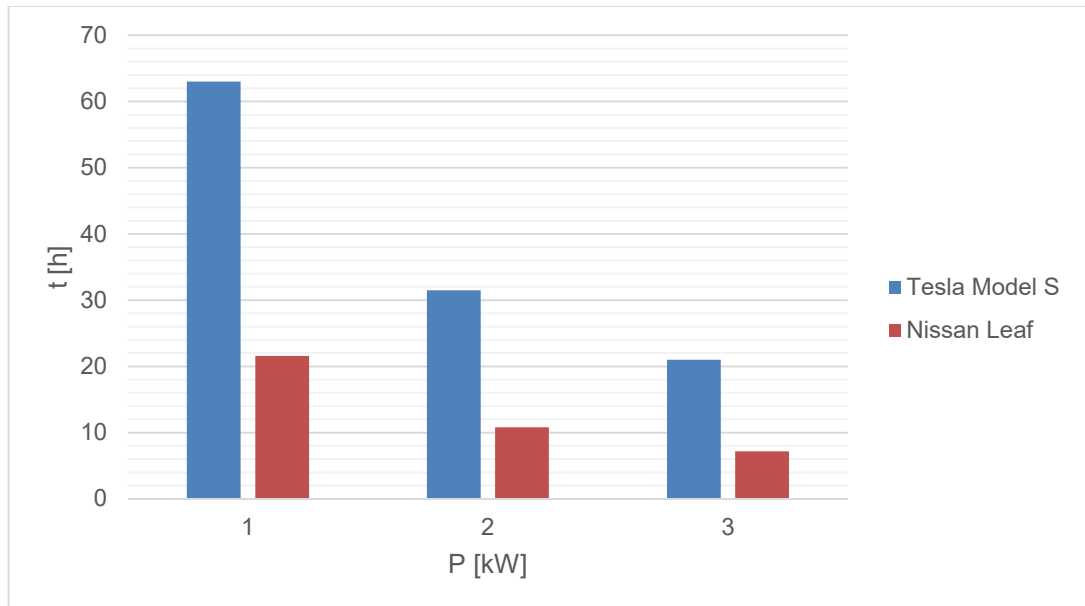
Varavoimana käyttäminen tarkoittaa sähköauton akuston purkausta aikana, jolloin yhteys sähköverkkoon on katkennut. Silloin voidaan ylläpitää pientalolle tärkeimpiä toimintoja, kuten valaistusta ja sähkölämmitystä.

Akuston kapasiteetin riittävyys voidaan laskea kaavalla 5.

$$t_{VV} = \frac{C_{VV}}{P_{VV}}, \quad (5)$$

jossa t_{VV} [h] on varavoiman kattama aika, C_{VV} on akuston varavoimana käytettävä kapasiteetti [kWh] ja P_{VV} [kW] varavoimakuorman käyttämä teho.

Tutkittiin tilannetta, jossa Nissan Leaf ja Tesla Model S -sähköautot toimivat pientalon varavoimana. Tapahtuu sähkökatkos, jolloin latauspisteeseen kytketty, täyteen ladattu sähköauto alkaa purkaa sähköä talon verkkoon. Aikaa, johon sähköä riittää, tutkittiin 1 kW:n, 2 kW:n ja 3 kW:n sähkönkäytöllä. Autojen akustojen riittävyys varavoimakäytössä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Sähköautojen akustojen ajallinen kesto varavoimakäytössä eri kuormilla

1 kW kuvaa pientä tehonkulutusta, jossa on mukana vain välttämättömimmät toiminnot, kuten vähäinen valaistus ja pienitehoinen sähkölämmitys. 2 kW on kohtuullisen kokoinen tehonkulutus ja 3 kW kuvaa runsaampaa sähkönkäyttöä.

Tesla Model S -sähköauton akusto on niin suuri, että se riittäisi hyvin varavoimakäyttöön. Suomessa tapahtuu harvaan asutuilla alueilla myrskyn kaatamien puiden seurauksena jopa vuorokausien pituisia sähkönjakelun häiriöitä. Tesla Model S voisi ominaisuuksiensa perusteella olla hyvä väline varavoiman toteuttamiseen.

5.1.2 Sähköauto kulutushuippujen tasauksessa

Kulutushuippujen tasauksella tarkoitetaan sähköauton latausta aikana, jolloin sähkönkulutus on matalaa, ja akuston purkamista korkean kulutuksen aikana. Tässä työssä tarkastellaan aikasähkön hyödyntämistä.

Suomessa on käytössä erilaisia sähkönkulutuksen laskutukseen vaikuttavia tariffeja. Pientalossa, jossa on suora sähkölämmitys, kannattaa käyttää aikasähköä. Sähkö on silloin halvempaa yöllä eli esimerkiksi klo 22–7 välisenä aikana. [24.]

Kulutushuippujen tasauksessa aikasähköä hyödyntämällä saatava rahallinen hyöty vuorokaudessa voidaan laskea kaavalla 6.

$$S = C * h_p - C * h_y, \quad (6)$$

jossa S [€] on säästetty rahamäärä päivässä, h_p [€/kWh] on päiväsaähkön hinta, h_y [€/kWh] on yösaähkön hinta ja C [kWh] sähköauton käytössä oleva akkukapasiteetti.

Jos päiväsaähkön hinta on 0,0662 €/kWh ja yösaähkön hinta 0,0537 €/kWh [18.], saadaan Teslan akkukapasiteetilla säästettyä sähkölaskussa 0,79 € päivässä ja Nissanin akkukapasiteetilla 0,27 € päivässä. Vuodessa säästöä tulee Teslalla 287,44 € ja Nissanilla 98,55 €. Laskelma on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tesla Model S ja Nissan Leaf kulutushuippujen tasauksessa.

Tesla Model S		Nissan Leaf	
Latauksen arvo päivällä		Latauksen arvo päivällä	
4,17 €		1,43 €	
Latauksen arvo yöllä		Latauksen arvo yöllä	
3,38 €		1,16 €	
Säästö päivässä		Säästö päivässä	
0,79 €		0,27 €	
Säästö vuodessa		Säästö vuodessa	
287,44 €		98,55 €	
$C_T = 63 \text{ kWh}$		$C_N = 21,6 \text{ kWh}$	

Saatavaa hyötyä ei voi pitää rahallisesti merkittävänä.

5.2 Käyttäminen sähköverkossa

Sähköautojen akustojen hyödyntämisestä sähköverkossa käytetään nimitystä V2G.

Korkean sähkönkysynnän aikana joudutaan nykyisin käynnistämään kallista ja ras-
kaasti saastuttavaa huippuvoimantuotantoa. Tästä voisi korvata osan ottamalla sähköä
julkisille latausasemille pysäköidyistä sähköautoista, minkä avulla sähköverkkotoimijat
voisivat säästää merkittävästi. Toiminnan edellytyksinä on ajoneuvon omistajan hyväk-
syntä ja se, että ajoneuvo on kytketty latausasemaan. Järjestelynä voisi toimia jonkin-
lainen sopimus ajoneuvon omistajan saamasta hyvityksestä ajoneuvon omistajan, la-
tausoperaattorin ja sähköyhtiön välillä. Todellinen vaikutus edellyttää sähköautojen
suurta määrää, eli kymmeniä tuhansia autoja. [25.]

Sähköautoja voisi myös hyödyntää sähköverkon taajuuden korjaamisessa. Taajuuden
vaihtelu johtuu sähkön tuotannon ja kulutuksen hetkellisestä epätasapainosta. Tällä
hetkellä verkon taajuutta ohjataan vesivoimaloiden virtausta säätämällä. Taajuuden
laskiessa liian pieneksi voitaisiin sähköä purkaa sähköautojen akustoista verkkoon.
Vastaavasti taajuuden noustessa liian suureksi voitaisiin nostaa sähköautojen lataus-
virtaa, jolloin verkon tilanne tasapainottuu. [25.]

6 Sähköautot lähitulevaisuudessa

Maailmanlaajuisesti vuoden 2016 ensimmäisen puoliskon täyssähköautojen ja ladatta-
vien hybridien myynti kasvoi vuoden 2015 ensimmäisen puoliskon myyntiin verrattuna
49 % [24]. Suurin täyssähköautojen myynnin kasvu on odotettavissa Kiinassa. Kiinan
on ennustettu ylittävän kahden miljoonan sähköauton rajan vuosien 2019 ja 2020 aika-
na, ja tulevan myös sähköautojen suurin markkina-alue. [26.]

Bloomberg New Energy Financen ennusteen mukaan sähköautojen hinnat laskevat
vuoteen 2022 mennessä polttomootoriautojen tasolle. Vuoteen 2040 mennessä ne
muodostaisivat 35 % kaikkien autojen myynnistä. Syynä on huomattava lasku akkujen
hinnoissa, joka tapahtuu lähitulevaisuudessa. [27.]

Öljyntuottajajärjestö OPECin ennusteen mukaan vuonna 2040 noin 94 % autoista kulkee öljypohjaisilla polttoaineilla. Täyssähköautojen markkinaosuus olisi vain 1 %. Hybridiautojen markkinaosuus olisi 14 %. [28.] Kun ottaa huomioon OPECin toiminnan motiivit, eli öljyntuottamisen pitämisen kannattavana, voi ennustetta pitää perustellusti liian pessimistisenä. Ilmastositimukset ja päästötavoitteet edellyttävät vähäpäästöisemmän liikenteen tukemista etenkin henkilöautojen ja joukkoliikenteen osalta.

Sähköautojen tekniikan kehittämisessä on trendinä siirtyminen yhä pidemmälle vietyyn itseohjautuvuuteen. Teslan sähköautoissa on jo tämän tyyppisiä toimintoja, kuten automaattinen kaistanvaihto sekä turvavälin valvonta. Itseohjautuvuus on kuitenkin jo aiheuttanut vakavia onnettomuuksia, eikä se toimi kaikissa olosuhteissa virheettömästi, joten kuljettajan täytyy vielä jonkin aikaa ohjata autoa. [6; 29.]

Tesla Motors on tuomassa markkinoille Tesla Model 3 täyssähköauton, jonka lähtöhinta on 35 000 dollaria ennen veroja. Auto on kuvassa 11. Tuotannon on suunniteltu alkavan vuoden 2017 puolivälissä. Yli 320 kilometrin toimintamatkallaan se on ylivoimainen verrattuna esimerkiksi vain vähän edullisempaan Nissan Leafiin, jonka toimintamatka on vuoden 2017 mallissa vain noin 170 km. [8; 9.]



Kuva 11. Tesla Model 3 [8]

Raskaan liikenteen korvaaminen sähköautoilla pitkillä matkoilla ei ole todennäköistä nykytekniikalla. Sähköllä toimivia kuorma-autoja (EFV) jakeluliikenteessä on kuitenkin jo käytössä. [30.]

7 Yhteenveto

Litiumioniakkujen hintojen laskeminen poistaa esteet täyssähköautojen yleistymiseltä. Akkujen kysyntä kasvaa, mikä lisää valmistajien välistä kilpailua ja laskee hintoja. Toisaalta harvinaisten raaka-aineiden hinnat voivat nousta. Nanoteknologian käyttöönotto akuissa voi parantaa niiden ominaisuuksia merkittävästi.

Täyssähköauton lataus kolmivaihesähköllä onnistuu 3 x 25 A:n sulakkeilla varustetussa pientalossa, kun virta on rajoitettu riittävän pieneksi eli alle 10 A. Tesla Model S latautuu 9 A:n latausvirralla 10–100 % kapasiteetista noin kymmenessä tunnissa. Nissan Leaf -täyssähköauton lataus kestää 9 A:n latausvirralla noin 3,4 tuntia. Latausajat ovat kohtuullisia ja autot ehditään ladata täyteen halvan yösähkön aikana. Autoja ei suositella ajettavan tyhjäksi, kuten laskelman tilanteessa oli tehty.

Sähköautojen käyttäminen sähkövarastoina alkanee lähitulevaisuudessa ilmiön ollessa nykyisin lähinnä kokeiluasteella. Sähköauton käyttäminen varavoimana voi olla järkevää, jos muita välineitä ei ole käytettävissä. Kulutushuippujen tasauksessa ei sähköautosta tällä hetkellä ole juuri hyötyä. Todellista hyötyä voi saada, jos sähkön hinnanvaihtelu eri aikoina kasvaa. Sähköverkon tasolla akustojen purkaminen voi olla automaattien kasvaessa järkevää, koska silloin voidaan säästää esimerkiksi verkon investointikuluissa. Toiminnan esteenä on standardoinnin puute, joidenkin autonvalmistajien negatiivinen suhtautuminen akustojen käyttämiseen muuhun kuin ajamiseen ja latausjärjestelmien tekniset rajoitteet. Näiden asioiden suhteen on odotettavissa edistymistä.

Tehtyjä laskelmia voidaan pitää suuntaa antavina, koska sähkövarastoina käyttämistä tutkittiin teoreettisella tasolla keksityillä tehon arvoilla. Latauksen vaikutusta pientalon pääsulakkeisiin tulee arvioida tapauskohtaisesti lasketun tehon perusteella. Vertaamalla lataustehoista ja -ajoista tehtyjä laskelmia latauspisteiden valmistajien ilmoittamiin aikoihin nähdään, että ne pitävät paikkansa.

Lähteet

- 1 Battery Electric Vehicle. 2016. Wikipedia. Verkkodokumentti.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_electric_vehicle>. Luettu 10.9.2016
- 2 Larminie, J. & Lowry, J. 2012. Electric Vehicle Technology Explained. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd
- 3 Moottorihjain (motor controller). 2011. Sähköautot Nyt! Verkkodokumentti.
<<http://www.sahkoautot.fi/wiki:kontrolleri>>. Luettu 10.10.2016
- 4 Vehicle Stats. 2016. European Alternative Fuels Observatory. Verkkodokumentti.
<<http://www.eafo.eu/vehicle-statistics/m1>>. Luettu 1.11.2016
- 5 Tesla Model S. 2016. Tesla Motors. Verkkodokumentti.
<<https://www.tesla.com/models?redirect=noE>>. Luettu 27.10.2016
- 6 Tesla Model S Specifications. 2016. Tesla Motors. Verkkodokumentti.
<<https://www.tesla.com/support/model-s-specifications>>. Luettu 27.10.2016
- 7 Tesla Press Information. 2016. Tesla Motors. Verkkodokumentti.
<<https://www.tesla.com/presskit/autopilot>>. Luettu 27.10.2016
- 8 Tesla Model X. 2016. Tesla Motors. Verkkodokumentti.
<<https://www.tesla.com/modelx>>
- 9 2016 Nissan LEAF Electric Car Specs. 2016. Nissan USA. Verkkodokumentti.
<<http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/versions-specs/>>. Luettu 27.10.2016
- 10 Colors & Photo Gallery. 2016. Nissan USA. Verkkodokumentti.
<<http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/colors-photos/>>. Luettu 27.10.2016
- 11 Electric Cars. 2016. Nissan. Verkkodokumentti.
<<https://www.nissan.co.uk/range/electric-cars.html>>. Luettu 18.11.2016
- 12 Akut. 2016. Motiva. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut>. Luettu 14.11.2016
- 13 Opas sähköautoiluun. 2016. Volkswagenlehti. Verkkodokumentti.
<<https://www.volkswagenlehti.fi/opas-sahkoautoiluun/>>. Luettu 14.11.2016

- 14 How do Lithium Batteries Work? 2016. Battery University. Verkkodokumentti.
<http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries>. Luettu 10.9.2016
- 15 Charging Ahead: The Future of Battery Technology.
<<http://www.physicscentral.com/explore/action/battery-future.cfm>>. Luettu 28.10.2016
- 16 Nanotechnology Battery. 2016. UnderstandingNano.com. Verkkodokumentti.
<<http://www.understandingnano.com/batteries.html>>. Luettu 14.11.2016
- 17 SFS 6000-7-722. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto
- 18 Lataussuositus. 2016. SESKO ry. Verkkodokumentti.
<http://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/lataussuositus_2014>. Luettu 13.9.2016
- 19 Sähköauton lataustekniikka ja turvallisuus. 2016. Motiva. Verkkodokumentti
<http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/autotyyppi/sahkoauton_lataustekniikka_ja_turvallisuus>. Luettu 12.9.2016
- 20 Rautiainen, A. 2015. Aspects of Electric Vehicles and Demand Response in Electricity Grids. Tampere University of Technology Publication; Vol. 1327. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto
- 21 Lataa sähköautosi Charge & Drive -avaimella. 2016. Fortum. Verkkodokumentti.
<<https://www.fortum.fi/countries/fi/yritysasiakkaat/sahkoauton-lataaminen/lataarfidkortilla/pages/default.aspx>>. Luettu 17.11.2016
- 22 Usein kysytyt kysymykset. 2016. Sähkövirta Oy. Verkkodokumentti.
<<https://virta.fi/?ukk>>. Luettu 18.11.2016
- 23 EVs as power sources for living. 2016. Nissan. Verkkodokumentti.
<http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle_to_home.html>. Luettu 17.11.2016
- 24 Aika- ja kausisähkö – Sähkölämmittäjille. 2016. Helen Oy. Verkkodokumentti.
<<https://www.helen.fi/sahko/kodit/sahkosopimus/aika-ja-kausisahko/>>. Luettu 28.10.2016
- 25 Sähköautoista lisäenergiaa sähköverkon kulutushuippuihin? 2014. Tekes. Verkkodokumentti <<https://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2015/eve-uutiset/sahkoautoista-energiaa-sahkoverkon-kulutushuippuihin/>>. Luettu 25.10.2016

- 26 China Leads Electric Vehicle Market (BEV, PHEV) 2020 Forecasts Say New Research Reports. 2016. PR Newswire. Verkkodokumentti. <<http://www.prnewswire.com/news-releases/china-leads-electric-vehicle-market-bev-phev-2020-forecasts-say-new-research-reports-592318931.html>>. Luettu 17.11.2016
- 27 Electric Vehicles to be 35 % of global new car sales by 2040. 2016. Bloomberg New Energy Finance. Verkkodokumentti. <<https://about.bnef.com/press-releases/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/>>. Luettu 18.11.2016
- 28 OPEC bashes prospects for electric cars. 2016. CNN. Verkkodokumentti. <<http://money.cnn.com/2015/12/23/autos/oil-opec-demand-electric-cars/index.html?iid=Lead>>. Luettu 18.11.2016
- 29 Tesla's Autopilot makes for a smooth highway cruise. 2016. Los Angeles Times. Verkkodokumentti <<http://www.latimes.com/business/autos/la-fi-hy-tesla-autopilot-review-20160728-snap-story.html>>. Luettu 17.11.2016
- 30 Vehicles. 2016. FREVUE. Verkkodokumentti. <<http://frevue.eu/vehicles-home/>>

Täyssähköautojen myyntitilastoja

Taulukossa on esitetty myydyimmät täyssähköautot Suomessa ja Euroopassa vuosien 2015 ja 2016 ensimmäisen 6 kuukauden aikana. [4.]

Suomessa 2016			Suomessa 2015		
	lkm.	%		lkm.	%
Tesla Model S	68	41,7	Tesla Model S	141	61,0
Nissan Leaf	64	39,3	Nissan Leaf	61	26,4
Tesla Model X	16	9,8	Volkswagen eGolf	13	5,6
BMW i3	5	3,1	Nissan e-NV200 Evalia	6	2,6
Volkswagen eGolf	4	2,5	Mercedes B250e	5	2,2
Muut	6	3,7	Muut	5	2,2
Yhteensä	163	100,0	Yhteensä	231	100,0
Euroopassa 2016			Euroopassa 2015		
	lkm.	%		lkm.	%
Renault Zoe	15708	23,8	Renault Zoe	16518	20,9
Nissan Leaf	13178	20,0	Tesla Model S	14630	18,5
Tesla Model S	10014	15,2	Nissan Leaf	14583	18,4
Volkswagen eGolf	5525	8,4	Volkswagen eGolf	10195	12,9
BMW i3	5421	8,2	BMW i3	5688	7,2
Muut	16125	24,4	Muut	17568	22,2
Yhteensä	65971	100,0	Yhteensä	79182	100,0

Tesla Model S -sähköauton lataukseen kuluva aika

Taulukossa on laskettu latausvirtaa I_L vastaava latausteho P_L ja Tesla Model S -sähköauton lataukseen kuluva aika t_L kolmivaiheisella 400 voltin jännitteellä. Akuston kapasiteetti C on 63 kWh.

I_L [A]	P_L [kW]	t_L [h]
4	2,771	22,7
5	3,464	18,2
6	4,157	15,2
7	4,850	13,0
8	5,543	11,4
9	6,235	10,1
10	6,928	9,1
11	7,621	8,3
12	8,314	7,6
13	9,007	7,0
14	9,699	6,5
15	10,392	6,1
16	11,085	5,7
17	11,778	5,3
18	12,471	5,1
19	13,164	4,8
20	13,856	4,5
21	14,549	4,3
22	15,242	4,1
23	15,935	4,0
24	16,628	3,8
25	17,321	3,6
26	18,013	3,5
27	18,706	3,4
28	19,399	3,2
29	20,092	3,1
30	20,785	3,0
31	21,477	2,9
32	22,170	2,8

Nissan Leaf -sähköauton lataukseen kuluva aika

Taulukossa on laskettu latausvirtaa I_L vastaava latausteho P_L ja Nissan Leaf -sähköauton lataukseen kuluva aika t_L kolmivaiheisella 400 voltin jännitteellä. Akuston kapasiteetti C on 21,6 kWh.

I_L [A]	P_L [kW]	t_L [h]
4	2,771	7,79
5	3,464	6,24
6	4,157	5,20
7	4,850	4,45
8	5,543	3,90
9	6,235	3,46
10	6,928	3,12
11	7,621	2,83
12	8,314	2,60
13	9,007	2,40
14	9,699	2,23
15	10,392	2,08
16	11,085	1,95
17	11,778	1,83
18	12,471	1,73
19	13,164	1,64
20	13,856	1,56
21	14,549	1,48
22	15,242	1,42
23	15,935	1,36
24	16,628	1,30
25	17,321	1,25
26	18,013	1,20
27	18,706	1,15
28	19,399	1,11
29	20,092	1,08
30	20,785	1,04
31	21,477	1,01
32	22,170	0,97

Pientalossa esiintyvät virrat latauksen aikana

Taulukossa on laskettu omakotitalossa tapahtuvan sähköauton latauksen aikaista kokonaistehoa vastaava virta. I_L on latausvirta, P_L on latausteho, P_T on talon kokonaisteho eli $10 \text{ kW} + P_L$ ja I_T on talon kokonaisvirta.

I_L [A]	P_L [kW]	P_T [kW]	I_T [A]
4	2,771	12,771	18,434
5	3,464	13,464	19,434
6	4,157	14,157	20,434
7	4,850	14,850	21,434
8	5,543	15,543	22,434
9	6,235	16,235	23,434
10	6,928	16,928	24,434
11	7,621	17,621	25,434
12	8,314	18,314	26,434
13	9,007	19,007	27,434
14	9,699	19,699	28,434
15	10,392	20,392	29,434
16	11,085	21,085	30,434
17	11,778	21,778	31,434
18	12,471	22,471	32,434
19	13,164	23,164	33,434
20	13,856	23,856	34,434
21	14,549	24,549	35,434
22	15,242	25,242	36,434
23	15,935	25,935	37,434
24	16,628	26,628	38,434
25	17,321	27,321	39,434
26	18,013	28,013	40,434
27	18,706	28,706	41,434
28	19,399	29,399	42,434
29	20,092	30,092	43,434
30	20,785	30,785	44,434
31	21,477	31,477	45,434
32	22,170	32,170	46,434